

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 13

Artikel: Wildstrubel et Lötschberg: étude de la traversée des Alpes bernoises (suite et fin)
Autor: Stockalper, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23496>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef: M. P. HOFFET, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

SOMMAIRE: *Wildstrubel et Lötschberg. Etude de la traversée des Alpes bernoises* (suite et fin), par M. E. de Stockalper, ingénieur, à Sion. — **Divers:** Tunnel du Simplon. Etat des travaux au mois de juin 1903. — Chemin de fer du Lötschberg. — Société fribourgeoise des Ingénieurs et Architectes. Séance du 22 mai 1903. — Concours pour les façades du bâtiment aux voyageurs de Bâle. — Concours pour l'élaboration d'un projet de bâtiment d'écoles primaires et secondaires à Fribourg. — Erratum.

Wildstrubel et Lötschberg.

ÉTUDE DE LA TRAVERSÉE DES ALPES BERNOISES

(Suite et fin)¹.

Comparaison entre le Wildstrubel et le Lötschberg, projet principal des experts Hittmann et Greulich.

Estimation des lignes.

Le devis précédent, pour le Wildstrubel, s'élève à 52 700 000 fr. Le devis du Lötschberg, selon les experts Hittmann et Greulich, à 69 500 000 fr., mais ce devis n'est pas établi complètement sur les mêmes bases que celui du Wildstrubel. Nous devons donc le rectifier.

Rectification du devis du Lötschberg.

D'une manière générale, nous acceptons de confiance le devis du Lötschberg, vu la compétence de ses auteurs. Nos divergences découlent plutôt de questions de principe et ne portent que sur les trois points suivants :

1^o *Gorges de la vallée de Lötschen.* Le tunnel du Lötschberg débouche à Goppenstein à la cote 1225, dans l'étroite et abrupte vallée de la Lonza. Le tracé suit de là le flanc rocheux et escarpé de la rive gauche, sur 4 km., dont environ 2 km. à ciel ouvert. A cette altitude, de 1225 à 1125 m., et vu les conditions défavorables du climat et du terrain, la ligne doit être prévue en tunnels ou galeries artificielles sur toute sa longueur, pour assurer une exploitation continue en hiver. De ce chef, le devis doit être majoré de 800 000 fr. environ.

2^o *Grand tunnel du Lötschberg, longueur 13 520 m.* Sur la base des prix du tunnel du Simplon, à notre avis méritant seuls confiance, nous sommes arrivés pour le tunnel du Wildstrubel, rubrique I, établissement du tunnel, au prix de 2528 fr. 60 par mètre courant. En appliquant ce prix au Lötschberg, nous aurions :

I. Etablissement du tunnel, 13 520 m. à 2528 fr. 60, soit . . .	Fr. 34 186 672
Nous devons ajouter :	
II. Matériel roulant, compté par les experts, compris intérêt à 10 ⁰ / ₀ , à . . .	» 689 700
III. Mobilier, selon le chiffre des experts	» 33 000
Devis du tunnel.	Fr. 34 909 372

¹ Voir N° du 25 juin 1903, page 161.

Le chiffre total prévu par les experts étant 32 100 000 francs, il en résulte une augmentation à porter au devis, en chiffre arrondi, de 2 800 000 fr.

Les experts du Lötschberg sont arrivés à leur estimation inférieure du tunnel en cherchant à tirer parti de la possibilité qui se présente au Lötschberg d'établir dans la vallée de Gastern un puits de 180 m. de profondeur, à 2600 m. de la tête Nord.

Ce puits, à leur avis, permet de terminer le tunnel en 5 ¹/₂ années, tout en n'appliquant la perforation mécanique complète qu'au côté Sud, et en se bornant, pour le côté Nord, à une perforation mécanique *restreinte, limitée* (beschränkte Maschinenbohrung), c'est-à-dire moins active, mais plus économique.

Pour un tunnel de cette longueur, nous n'estimons pas cette solution rationnelle; c'est une *demi-mesure* qui ne permettrait pas un programme fixe pour l'achèvement des travaux, car la réussite d'un puits est toujours problématique et l'est particulièrement dans le cas présent, si le puits vient à se trouver dans des terrains et une position où les venues d'eau sont à craindre et même probables, selon le rapport géologique. Au contraire, en appliquant la perforation mécanique *active* par les deux têtes, le tunnel pourrait s'achever dans le terme à peu près certain de 4 ¹/₂ années. Aussi au Gothard et à l'Arlberg, comme au Simplon, les puits ou galeries inclinés prévus lors des études n'ont pas été exécutés, les constructeurs de ces tunnels n'ayant pas osé en courir la chance.

Si le système préconisé pour le Lötschberg, *perforation mécanique restreinte par une tête*, était à recommander et présentait un réel avantage économique, il pourrait également être appliqué au Wildstrubel et avec plus d'avantages encore. En effet, il résulte du rapport des experts que la longueur du tunnel du Lötschberg percée par le puits serait d'environ 1500 m., et qu'il resterait ainsi 12 000 m. à percer par les têtes. Or cette longueur est égale à celle de tout le tunnel du Wildstrubel, et l'on n'aurait pas à compter ici avec l'aléa d'un puits.

En admettant ce système, avec les conséquences qu'en déduisent MM. Hittmann et Greulich, et avec leur mode d'évaluation de l'excavation sur série de prix par m³ variables avec la dureté de la roche, au lieu du prix uni-

que par m. l. d'excavation du Simplon, l'estimation du tunnel du Wildstrubel, basée entièrement sur celle du Lötschberg faite par MM. les experts, ressortirait, chiffre arrondi, à 27 millions, soit à 4 millions de moins que notre estimation.

Mais MM. les experts n'admettent pas que les devis des tunnels du Lötschberg et du Wildstrubel soient faits sur les mêmes bases. Dans leur estimation comparative, ils évaluent l'excavation du tunnel (Unterbau) à 2000 fr. par m. l. pour le Lötschberg, et à 2400 fr. pour le Wildstrubel. A leur avis, cette différence en faveur du Lötschberg se justifie par les considérations suivantes : *Incertitude sur les conditions géologiques à l'intérieur du massif du Wildstrubel; conditions plus difficiles de pression du terrain; plus haute température de la roche; installation plus coûteuse des forces motrices.*

Examinons ces griefs. (Voir lettres aux annexes.)

a/ *Incertitude géologique, pression du terrain.* Cette incertitude n'existe pas; le rapport des géologues affirme, au contraire, que le massif du Wildstrubel ne présentera *exclusivement* (ausschliesslich) que des *calcaires, schistes et grès*, tous de perforation facile. Mais l'inclinaison des couches étant faible, la moindre erreur dans la prévision de leur position peut porter le tunnel, sur une plus ou moins grande longueur, dans l'une ou l'autre de ces couches. Les schistes seront représentés sur 3 à 4 km. par le *Flysch*, roche dont le type sont les ardoises de Frutigen et de Glaris. Cette formation ardoisière, à couches peu inclinées, nécessitera de forts boisages pour soutenir le plafond presque horizontal du tunnel en construction. C'est là évidemment la pression dont parle le rapport géologique; mais cette pression n'a rien de comparable à celle exercée par les terrains mouillés et décomposés, rendus plastiques par l'eau, comme les parties comprimantes du Gothard et du Simplon (Drückpartien). Les géologues ne prévoient au Wildstrubel que quelques légers suintements ou même point d'eau; les conditions de pression seront tout à fait normales, analogues à celles rencontrées jusqu'ici dans les grands tunnels des Alpes, auxquelles le Lötschberg aussi ne fera pas exception. L'absence au Wildstrubel de roches primitives, telles que granit, gneiss, etc., nous autorise à dire que, sous le rapport du coût, le tunnel du Wildstrubel est plus favorable que le Lötschberg. Le Wildstrubel, au point de vue technique, se rapprochera des conditions du Simplon côté de Brigue, tandis que le Lötschberg aura plus d'analogie avec le côté d'Iselle.

b/ *Plus hautes températures de la roche.* La température maximum prévue est : au Lötschberg 30°, au Wildstrubel 35°. L'expérience du Simplon, dont la température de la roche a atteint 54°, a démontré qu'avec une bonne ventilation, nécessaire dans tous les cas, la différence de 5°, entre 30° et 35°, n'a pas d'influence appréciable sur le résultat du travail. Une réfrigération spéciale ne devient nécessaire qu'à partir de la température de 40°.

c/ *Installation plus difficile des forces motrices.* Les experts attribuent à la faible quantité d'eau de la Simme et de la Dala, ainsi qu'à la grande distance de transport de la force, une part à la forte différence de coût qu'ils prévoient entre les tunnels du Wildstrubel et du Lötschberg : « Kraftbeschaffung auf der Südseite schwieriger, » in dem die vorhandenen Bäche nicht genügen, » und die Kraft mittelst elektrischer Uebertragung » weiter hergeleitet werden muss. »

A ces objections, nous répondons que du côté Nord, comme du côté Sud, nous trouvons des eaux motrices en quantité suffisante. C'est là l'essentiel. En effet, selon les jaugeages de l'administration des eaux à la Lenk, la Simme y fournit un minimum de 1500 litres à la seconde. Ces eaux proviennent en partie du bassin supérieur de la Simme et en partie de son principal affluent l'Iffigen. Dans chacun de ces bassins les eaux seraient dérivées par canalisations en flanc de montagne, pour obtenir la chute et par suite la force voulue. Sur le côté Sud, c'est au Rhône qu'on doit demander l'énergie. Le Rhône présente, entre le pont de Loèche et Finges (Pfin), une chute de 50 m. sur 3 km., à utiliser pour l'établissement d'une usine centrale hydro-électrique, distante de 6 km. de la tête du tunnel. Les transports de l'énergie par lignes électriques sont peu coûteux, soit ici de 5000 à 6000 fr. par kilomètre. Les installations pour le Wildstrubel ne seront pas plus dispendieuses que la double installation étagée projetée par MM. Hittmann et Greulich à la tête Sud du tunnel du Lötschberg, dans les gorges de la Lonza, où ils prévoient aussi un transport électrique à 3 km.

Ainsi, à tous les points de vue, rien ne justifie la majoration de 400 fr. par m. l. comptée par MM. les experts pour le Wildstrubel. Bien au contraire, en évaluant les tunnels du Lötschberg et du Wildstrubel tous deux au même prix linéaire, soit au prix du Simplon, nous faisons certainement, dans la comparaison, une faveur au Lötschberg.

3° *Matériel roulant.* Le devis du Lötschberg suppose un matériel roulant plus important que celui que nous avons compté pour le Wildstrubel. Pour notre comparaison nous devons donc réduire le chiffre calculé par MM. Hittmann et Greulich pour le Lötschberg.

Nous estimons que pour des lignes d'égal trafic le matériel roulant doit être proportionnel à la longueur virtuelle des lignes considérées. Or, pour le Wildstrubel, nous avons compté 3 210 000 fr., ce qui, dans la proportion indiquée, fixe ce chiffre pour le Lötschberg à

$$\frac{3\,210\,000}{133} \times 121 = 2\,920\,377 \text{ fr.}$$

MM. les experts ont compté, compris le matériel Spiez-Frutigen et les intérêts à 7 %, le chiffre total de 3 602 600 francs, soit 682 223 fr. en plus, somme que nous avons à porter en diminution dans la rectification du devis.

Devis rectifié du Lötschberg. Le devis du Lötschberg, selon MM. Hittmann et Greulich, est de Fr. 69 500 000

Nous avons à porter en augmentation :

1° Gorges de la vallée de Lötschen
Fr. 800 000

2° Grand tunnel 2 800 000
Fr. 3 600 000

En diminution :

3° Matériel roulant (arrondi). 682 300

Fr. 2 917 700

Devis du Lötschberg rectifié : Total . . . 72 417 700

Capital d'établissement. Nous avons calculé :

Pour le Lötschberg Fr. 72 417 700

Pour le Wildstrubel 52 700 000

Différence en moins pour le Wildstrubel. Fr. 19 717 700

Nous disons, chiffre rond, 20 millions.

Cette différence de 20 millions, quelque considérable qu'elle paraisse, peut, pour la plus grande partie, se déduire directement des devis comparatifs de MM. Hittmann et Greulich eux-mêmes. Leurs devis comparatifs indiquent :

Pour le Lötschberg Fr. 69 500 000

Pour le Wildstrubel-Erlenbach-Gampel (projet n° 8) Fr. 64 500 000

auxquels nous devons ajouter

pour raccourci et corrections de la ligne Thoune-

Erlenbach. 2 200 000

Fr. 66 700 000

Différence en faveur du Wildstrubel . . » 2 800 000

Mais, en outre, nous devons ajouter les différences suivantes :

a/ MM. les experts ont compté l'établissement du tunnel du Wildstrubel (Unterbau) à un prix de 400 fr. par m. l. supérieur à celui du Lötschberg, chiffre auquel vient s'ajouter l'intérêt du capital admis par eux à 8 1/2 %; ce qui fait ressortir la majoration à 434 fr. par m. l., majoration que rien ne justifie. Il en ré-

sulte pour le Wildstrubel une diminution de 12150 m. l. à 434 fr.

5 260 000

b/ Le projet n° 8 des experts prévoit, dans la gorge de la Dala, un développement en spirale de 3 km., forcément presque tout en tunnel et qui exige néanmoins un grand pont sur la Dala. Le coût de ce développement doit être évalué au moins à Fr. 3 000 000

Notre projet remplace ce développement par un grand pont-viaduc traversant directement la Dala, qui raccourcit effectivement la distance Thoune-Brigue de 3 km., soit de 110 à 107 km. Le coût de ce pont s'élève en chiffre rond à 500 000

Economie résultante 2 500 000

c/ MM. les experts supposent la construction entièrement à nouveau de la ligne Erlenbach-Zweisimmen, longueur km. 23,500, alors qu'à notre avis il suffit de transformer la ligne existante, d'où il résulte une économie de. 3 600 000

d/ MM. les experts portent dans leur devis le trajet Zweisimmen-Grand tunnel du Wildstrubel, de 17 km. de long, au prix moyen de 350 000 fr. par km. Ce prix, pour une ligne de plaine d'une facilité exceptionnelle, est évidemment exagéré d'au moins 110 000 fr. par km. 1 870 000

Fr. 16 030 000

Le complément de 4 millions trouve son explication dans le fait que MM. les experts ont jugé, sur la rampe Sud, les difficultés du terrain bien plus considérables que l'étude à grande échelle ne l'a démontré. En effet, leur devis s'élève, pour cette partie, à 735 000 fr. par km., tandis que notre estimation détaillée n'arrive qu'à 535 000 fr. par km., soit une différence de 200 000 fr. par km. qui, pour une longueur de km. 17,280, donne un chiffre de 3 456 000 fr.

Conditions d'exploitation.

Pour les lignes que nous comparons, les données caractéristiques sont les suivantes :

	Wildstrubel.	Lötschberg.
Longueur réelle Thoune-Brigue	km. 107	km. 84,22
Point culminant du passage	m. 1105	m. 1242,82

La ligne du Lötschberg est plus courte de 23 km., mais elle s'élève à 138 m. plus haut. Dans quelle mesure ces différences se compensent-elles ?

M. T.-G. Lommel, ancien directeur de la Compagnie du Simplon, a établi lors des études de ce passage, à l'aide des résultats de l'expérience, que la dépense d'exploitation pour s'élever de 10 m. selon la verticale, par de fortes rampes, est égale à la dépense qu'entraîne le parcours de 1 km. en ligne horizontale.

M. W. Hellwag, ingénieur en chef du Gothard, de son côté était arrivé à admettre, pour l'étude de ses tracés, une majoration un peu moins forte, soit de 800 m. pour 30 m. de hauteur.

En appliquant ici le coefficient Hellwag, les 138 m. qu'au Lötschberg on doit gravir en plus qu'au Wildstrubel, représentent pour le Lötschberg une augmentation de longueur de $\frac{138}{10} \times 800 \text{ m.} = 11 \text{ km.}$, qui réduit l'avantage du Lötschberg de 23 km. à 12 km.

Mais, dès lors, une étude plus rigoureuse de l'influence des hauteurs à franchir amena la théorie des longueurs virtuelles qui confirme les résultats obtenus, avec une approximation satisfaisante, par la méthode facile de MM. Lommel et Hellwag.

Longueurs virtuelles. La longueur virtuelle d'une ligne en rampe et en courbe est la longueur fictive d'une ligne droite et horizontale qui, pour le même trafic, nécessite la même dépense d'exploitation.

Les frais d'exploitation d'un chemin de fer peuvent se diviser en deux rubriques bien distinctes :

1° Les frais que l'on peut regarder comme constants, c'est-à-dire qui varient dans de faibles limites avec l'intensité du trafic, tels que : administration, expédition, entretien de l'infrastructure et bâtiments, etc.

2° Les frais directement proportionnels au trafic, soit la traction, matériel roulant, service du mouvement, usure de la voie, etc.

Dans l'établissement des longueurs virtuelles, les divers auteurs n'ont pas toujours considéré les mêmes éléments du coût de l'exploitation. De plus, ils n'ont pas tous pris comme terme de comparaison, soit comme unité, la ligne horizontale ; quelques-uns considèrent les faibles rampes comme des quasi-paliers et ne majorent les rampes qu'à partir de 5 ‰, voire même de 10 ‰. De là une certaine confusion. Aussi, quand on parle de longueurs virtuelles, est-il nécessaire de bien indiquer dans quel ordre d'idée et sur quelles bases elles ont été établies.

En général, cependant, on peut grouper les longueurs virtuelles des divers auteurs suivant deux classifications différentes :

a/ Celles qui ne tiennent compte, pour la majoration, que de la dépense de traction, soit du travail mécanique nécessaire pour vaincre la résistance

due aux déclivités et aux courbes, et qui négligent les frais constants.

Les longueurs virtuelles ainsi obtenues sont celles vers lesquelles tend la réalité, lorsque le trafic devient assez intense pour que les frais constants disparaissent presque par rapport aux frais de traction. La longueur virtuelle est alors un chiffre absolu, déterminé, ne dépendant que du profil, soit de la sinuosité et de la déclivité de la ligne.

Dans cette hypothèse, et pour les lignes que nous comparons, nous appliquerons les coefficients de l'Inspectorat technique fédéral (1873) et aussi ceux établis récemment par M. J. Jacquier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (Paris, 1901), pour son rapport, dressé au nom de la commission d'études des lignes d'accès françaises au Simplon (Faucille et Frasnè-Vallorbe).

Nous obtenons :

THOÛNE-BRIGUE	Longueur virtuelle selon	
	Inspectorat fédéral majoration dès 10 ‰.	J. Jacquier majoration dès 5 ‰.
par le Wildstrubel	Km. 141	Km. 162
par le Lötschberg	Km. 138	Km. 169

Ainsi, dans l'hypothèse d'un très grand trafic, les longueurs virtuelles sont sensiblement égales pour les deux passages.

b/ Celles dans lesquelles les auteurs considèrent *tous les frais d'exploitation* pour établir leurs coefficients virtuels. Dans ce cas, les frais constants devant se répartir sur tout le trafic, la longueur virtuelle d'une même ligne varie selon l'importance du trafic que l'on suppose. Aussi les auteurs, pour fixer ce trafic, basent leurs calculs sur les résultats de lignes exploitées qu'ils indiquent et dont l'importance du trafic est connue.

Pour notre comparaison nous appliquerons, comme MM. Hittmann et Greulich, les coefficients d'Amiot, ingénieur du Paris-Lyon-Méditerranée, et aussi ceux de l'Inspectorat technique fédéral. Amiot a basé ses chiffres sur les résultats de l'exploitation de 52 lignes du réseau du P.-L.-M., et fait partir la majoration dès la rampe de 5 ‰. L'Inspectorat technique fédéral a considéré le trafic moyen du réseau suisse (1873) pour l'établissement de ses coefficients virtuels ; il les appelle *longueurs de tarif*,

¹ Je regrette de ne pouvoir indiquer ici les longueurs virtuelles selon la méthode de M. A. Lindner, ingénieur (*Die virtuelle Länge*. Zurich, 1879). Cette méthode est certainement une des plus complètes et d'un grand mérite. Elle tient compte de l'exploitation de la ligne dans les deux sens et de l'effet simultané des courbes et des pentes ou rampes. Mais, pour l'appliquer, il faut posséder le profil en long avec la situation des courbes de toutes les lignes à emprunter, documents qui, en grande partie, me font défaut.

parce que c'est la longueur kilométrique majorée à laquelle il propose d'appliquer les taxes concessionnelles pour les lignes à fortes rampes. Mais il ne fait partir la majoration que dès la rampe de 10 ‰, ce qui est rationnel pour la Suisse, puisque toutes nos grandes lignes de plaine sont fréquemment grevées de déclivités atteignant 10 ‰.

Nous obtenons les résultats suivants :

THOUNE-BRIGUE	Longueur virtuelle selon Amiot.	Longueur de tarif de l'Inspectorat fédéral.
par le Wildstrubel	Km. 135	Km. 124
par le Lötschberg	Km. 122	Km. 111
Différence.	Km. 13	Km. 13

Cette différence de 13 km. est confirmée par les calculs de MM. Hittmann et Greulich. Ils indiquent, en effet, page 73 :

Longueur virtuelle du Wildstrubel, projet 8	138 km.
» Lötschberg	122 »
Différence.	16 km.

Mais comme leur tracé du Wildstrubel, projet 8, est de 3 km., longueur réelle, plus long que le nôtre, et qu'il s'élève de 16 m. plus haut, la différence de 16 km. se réduit au moins à 13 km.

Ainsi nous admettons les chiffres suivants, selon Amiot :
Long. virt. du Wildstrubel-Thoune-Brigue. . . 135 km.
» Lötschberg-Thoune-Brigue . . . 122 »

Trafic, frais d'exploitation, coût du transport. Nous n'entreprenons pas d'établir le trafic probable des lignes que nous considérons. Mais nous examinons les conditions d'exploitation sous les trois hypothèses suivantes :

Recette brute par km. de 20 000 fr., de 30 000 fr. et de 40 000 fr.

Nous n'avons pas de raison de considérer un chiffre supérieur, car pour satisfaire à un pareil trafic, l'expérience indique la nécessité d'une *double voie*, non supposée ici.

Admettant qu'on perçoive les mêmes taxes totales pour les transports Thoune-Brigue par le Wildstrubel et le Lötschberg, la recette brute totale sera la même pour les deux lignes. Mais le Wildstrubel aura à supporter une augmentation de dépenses d'exploitation correspondant à celle de 13 km. virtuels.

La dépense d'exploitation par km. virtuel est d'environ 50 ‰ de la recette brute. Alors l'excédent de dépenses d'exploitation du Wildstrubel se chiffre comme suit, sous nos trois hypothèses.

Pour trafic par km. de	20 000 fr.	30 000 fr.	40 000 fr.
	Fr.	Fr.	Fr.
Dépenses d'exploitation par km. 50 ‰	10 000	15 000	20 000
Dépenses d'exploitation pour 13 km.	130 000	195 000	260 000

qui représentent, au 4 ‰, un capital de :

3 250 000	4 875 000	6 500 000
-----------	-----------	-----------

La dépense de construction du Wildstrubel étant inférieure de 20 millions, il reste, au Wildstrubel, un avantage en capital de :

16 750 000	15 125 000	13 500 000
------------	------------	------------

Donc, à égalité de capital-subvention, le Wildstrubel pourra toujours transporter à meilleur marché que le Lötschberg.

Durée de parcours. La rapidité n'a d'importance que pour les trains express. Aussi nous calculons le temps en appliquant aux profils en long des lignes considérées les vitesses actuelles des express du Gothard sur ses différentes déclivités et dans les deux sens de marche, soit en rampe et pente. Nous arrivons ainsi aux résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

Le Lötschberg ne présente sur le Wildstrubel qu'un avantage de 15 minutes; MM. Hittmann et Greulich indiquent 18 minutes qui, en tenant compte de la réduction de longueur de notre tracé de 3 km. à 20 ‰, se réduisent à 14 minutes.

Cette différence de 15 minutes tendra constamment à se réduire, à mesure que les perfectionnements du matériel roulant et de la voie permettront d'augmenter la vitesse.

La différence de 5 heures 45 minutes à 5 h. 30, entre les objectifs principaux Berne et Milan, ne saurait justifier une augmentation de 20 millions du capital de construction.

Le Wildstrubel place Berne, par rapport à Milan, dans une situation plus avantageuse que ne sont Lucerne et Milan par le Gothard.

On peut donc affirmer que le Wildstrubel est une so-

Durée de parcours :

	via Wildstrubel.			via Lötschberg.			via Lucerne-Gothard		
	Longueur		Durée du parcours. Heures.	Longueur		Durée du parcours. Heures.	Longueur		Durée du parcours. Heures.
	réelle Km.	virtuelle Km.		réelle Km.	virtuelle Km.		réelle Km.	virtuelle Km.	
Thoune-Brigue	107	135	2 h. 5 m.	84	122	1 h. 50 m.	—	—	Horaire actuel
Berne-Milan	302	345	5 h. 45 m.	279	332	5 h. 30 m.	373	519	8 h. 0 m.
Lucerne-Milan	—	—	—	—	—	—	278	398	6 h. 0 m.

lution complètement satisfaisante pour les intérêts du canton de Berne, comme pour ceux des autres cantons de la Suisse qui aspirent à la traversée des Alpes bernoises.

Rendement. N'ayant pas établi le trafic probable des lignes que nous comparons, nous ne pouvons pas en déduire le rendement. Mais on voit *à priori* que la zone de trafic du Wildstrubel, comprenant le Simmenthal, plus populeux que la vallée de la Kander, s'étendant au bassin supérieur de la Sarine, soit au district de Saanen et au Pays-d'Enhaut vaudois, ainsi qu'au centre du Valais avec Sion, sa capitale, place importante de commerce vinicole et agricole avec la Suisse allemande, sera plus étendue que celle du Lötschberg et assurera à la ligne du Wildstrubel, déjà moins coûteuse, un meilleur rendement.

Réalisation de la ligne. Formation du capital. Dans les conjonctures actuelles, le capital de construction du Wildstrubel, de 52 millions, paraîtrait réalisable à bref délai. En effet, l'opinion publique admet que :

- 1° Le canton de Berne est disposé à s'intéresser au passage des Alpes pour la somme de 25 millions.
 - 2° La Confédération, comme au Frasn-Val-lorbe, pour la somme de 5 »
 - 3° Les autres cantons intéressés pour 4 »
- Total, capital-subvention 34 millions.

Il resterait à placer comme capital-actions privilégiées et obligations 18 » dont le rendement de la ligne offrirait une garantie suffisante pour en assurer le placement.

Total 52 millions.

Il n'en serait pas de même pour un capital de 72 millions.

Résultats de la comparaison. Nous groupons dans le tableau suivant les éléments de comparaison obtenus, pour en déduire nos conclusions.

Profils en long comparés du Lötschberg, projet 1 de MM. Hittmann et Greulich, et du projet du Wildstrubel.

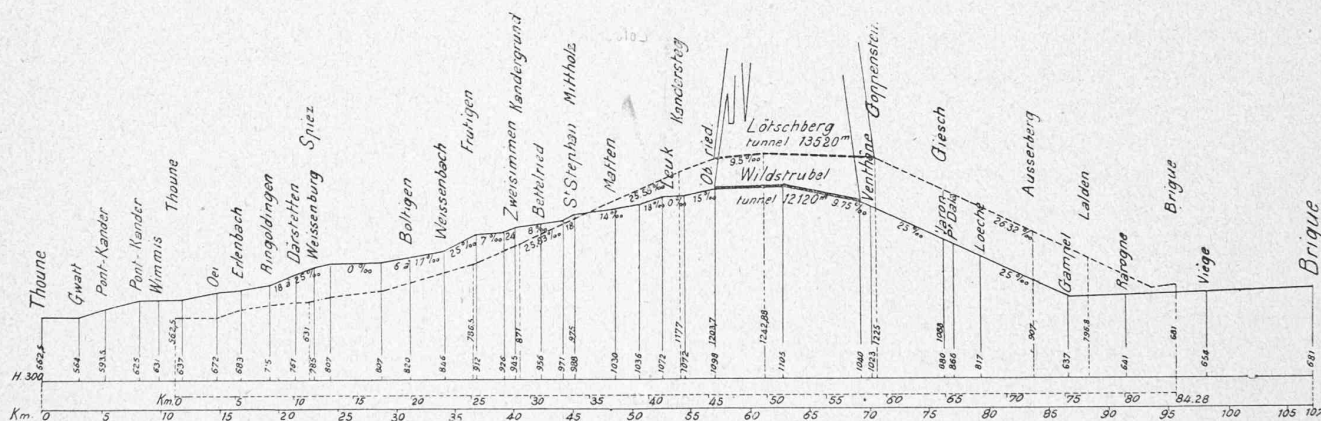


Tableau comparatif des éléments des projets.

Indications.	Lötschberg. Projet 1. Hittmann-Greulich.	Wildstrubel. Projet R. Moser-Stockalper.
Ligne.		
Longueur à construire.	Frutigen-Brigue km. 59,480	Zweisimmen-Rarogne km. 51,03
Longueur d'exploitation.	Thoune-Brigue » 842,80	Thoune-Brigue » 107,—
Rampe max.	27 ‰	25 ‰
Rayon min.	300 m.	300 m.
Longueur virtuelle.	Thoune-Brigue km. 122,—	Thoune-Brigue km. 135,—
Grand tunnel.		
Longueur.	13 520,— m.	12 120 m.
Altitude de la tête Nord.	1 203,74 »	1 098 »
Altitude du point culminant.	1 242,88 »	1 105 »
Altitude de la tête Sud.	1 225,12 »	1 040 »
Coût d'établissement.		
	Frutigen-Brigue Fr. 72 400 000	Zweisimmen-Rarogne Fr. 46 000 000
		Tronçons neufs et transformation de la ligne Thoune-Zweisimmen 6 700 000
		Total Thoune-Rarogne Fr. 52 700 000

Conclusion.

La longueur réelle Thoune-Brigue est plus courte de 23 km. par le Lötschberg; par contre, le point culminant du passage est au Wildstrubel de 138 m. moins élevé. La rampe maximum d'accès par le Wildstrubel est de 25 ‰, contre 27 ‰ au Lötschberg.

Il résulte de ces conditions que la longueur virtuelle du Wildstrubel est de 13 km. plus grande et la durée du parcours Thoune-Brigue de 15 minutes plus longue.

Le coût de la ligne du Wildstrubel est inférieur de 20 millions, ce qui, à égalité de subvention, permettra les transports à meilleur marché.

Le faible avantage de 13 km. virtuels ne saurait compenser un excédent de dépenses de construction de 20 millions; aussi devons-nous conclure que le choix du Wildstrubel s'impose, de préférence au projet 1 du Lötschberg de MM. Hittmann et Greulich.

Mais d'autres projets sont possibles au Lötschberg. Nous allons succinctement les analyser et les comparer.

Le Lötschberg.

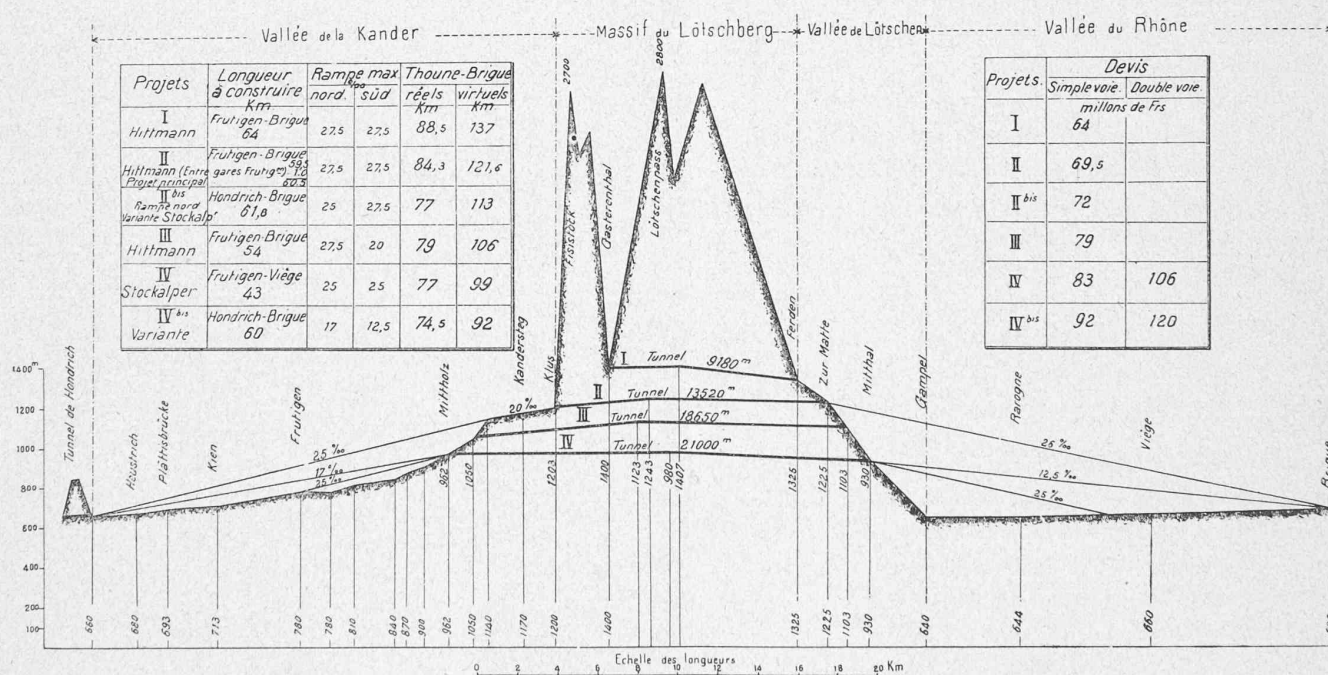
L'idée première de la traversée des Alpes bernoises par le Lötschberg est de feu M. l'ancien conseiller d'Etat W. Teuscher. Son premier avant-projet de 1889, qui a servi de base à la concession de cette ligne, s'élevait à l'altitude de 1495 m. et traversait les Alpes par un tunnel de 6850 m. Puis M. Teuscher proposa successivement de nouveaux avant-projets tendant constamment à abaisser le point culminant du passage, en augmentant nécessairement la longueur du tunnel de faite, ainsi :

		Mètres.		Mètres.
En 1893 un avant-projet avec tunnel de	11 500	à l'altitude de	1302	
» 1898	»	12 900	»	1260
» 1900	»	18 500	»	1146

Ce sont ces avant-projets qui ont été le point de départ des divers tracés étudiés avec plus de détails par MM. les experts Hittmann et Greulich.

Le principal mérite de M. Teuscher est d'avoir fait ressortir le grand intérêt du canton de Berne à se rattacher

Projets du Lötschberg. Coupe par le Lötschberg et le thalweg des vallées d'accès ¹.



Conclusion. Le projet I atteignant l'altitude de 1400 m. doit être rejeté, par raison climatologique et à cause de ses rampes. Le projet II, choisi par MM. Hittmann et Greulich, est le plus naturel et rationnel, eu égard à la conformation de la montagne, surtout si l'on adopte la variante II bis, c'est-à-dire si l'on commence la rampe Nord à Hondrich, pour éviter 7 km. de développement artificiel. Néanmoins le Wildstrubel doit lui être préféré, puisqu'avec une dépense de construction inférieure de 20 millions, il rendra les mêmes services et qu'il est plus satisfaisant sous le rapport climatologique, débouchant sur le versant Sud à la cote 1040, contre 1225 au Lötschberg, soit encore dans la région des fortes neiges. — Les géologues écartent complètement le projet III; ils le jugent d'une exécution pratiquement impossible, l'étage de Kandersteg étant formé par des éboulis et moraines glacières. Le projet IV, tunnel de base, permet d'atteindre, de Frutigen et de Viège, les têtes du grand tunnel avec des rampes de 25 ‰, sans développements artificiels. La longueur à construire Frutigen-Viège est ainsi réduite à 43 km. Ce serait le projet à adopter si l'on ne craint pas la grandeur du capital d'établissement. La variante IV bis serait le tracé le plus parfait possible, mais trop coûteux.

Ces projets IV ne se justifient que dans la prévision d'un trafic d'une grande importance, analogue à celui du Gothard. Dans ce cas la ligne serait à prévoir à double voie.

¹ Dans le devis du projet II (tableau de droite), lire 72 millions de francs au lieu de 69,5, et dans celui du projet II bis, lire 74 au lieu de 72.

au Simplon, et d'avoir ainsi rendu populaire l'idée de la traversée des Alpes bernoises. Aussi, quelque soit le projet qui sera adopté, il en restera le vrai promoteur. En resserrant les liens qui attachent le canton de Berne au Simplon, M. Teuscher a assuré à la réalisation du Simplon un puissant auxiliaire, et les intéressés à ce passage doivent à sa mémoire un hommage de reconnaissance.

Les divers tracés possibles au Lötschberg peuvent se résumer dans les quatre projets caractéristiques figurant dans le tableau synoptique suivant :

- Le N° I présente la variante 4 de MM. Hittmann et Greulich ;
- » II » le N° 1, soit projet principal de MM. Hittmann et Greulich ;
- » III » la variante 2 de MM. Hittmann et Greulich ;
- » IV » un projet avec tunnel de base.

Conclusion générale.

L'ensemble de cette étude nous amène à la conclusion générale suivante :

De la configuration topographique des Alpes bernoises, il résulte que deux projets seuls sont rationnels et peuvent rester en présence. Ce sont :

- a/ le projet du Wildstrubel, avec tunnel de 12 km., pouvant être réalisé pour environ 52 millions ; projet économique, donnant une satisfaction suffisante aux intérêts du canton de Berne et des autres parties de la Suisse ;
- b/ le projet du Lötschberg, avec tunnel de base d'environ 21 km., ligne exigeant un capital de construction d'environ 83 millions, voire même 100 millions en admettant la nécessité de la double voie dans un tunnel de cette longueur.

La traversée des Alpes bernoises est, avant tout, une ligne essentiellement bernoise, dont le canton de Berne a pris la courageuse initiative et lui a assuré d'importantes subventions. A justes titres, le choix entre ces tracés est entre les mains de ce canton qui est le meilleur juge de l'importance du capital qu'on peut espérer réunir à cet effet. De son côté, le Valais, également intéressé à un haut degré à la réalisation de l'une comme de l'autre de ces deux solutions, devrait y contribuer financièrement et de toutes ses forces.

Sion, juin 1903.

E. STOCKALPER,
ingénieur.

Annexes géologiques.

1^{re} lettre.

A Monsieur le Dr H. Schardt, professeur de géologie et membre de la commission d'expertise géologique des tunnels du Lötschberg et du Wildstrubel.

Monsieur le Professeur,

Comme auteur d'un projet de chemin de fer du Wildstrubel, je prends la respectueuse liberté de vous exposer ce qui suit.

Dans la comparaison entre les tunnels projetés du Lötschberg et

du Wildstrubel, MM. les experts techniques, ingénieurs Hittmann et Greulich, évaluent les frais de construction du tunnel à raison de 2000 fr. par mètre courant pour le Lötschberg et 2400 fr. pour le Wildstrubel, soit une majoration de 430 fr. par m. l. pour le Wildstrubel, en comptant l'intérêt du capital de construction, majoration qui, pour le tunnel de 12 120 m., s'élève à plus de 5 millions de francs, tandis que le contraire serait plus juste, puisque le tunnel du Lötschberg présente 5,5 km. de granit, roche très coûteuse pour l'excavation, qui ne se rencontre pas au Wildstrubel.

MM. les experts techniques justifient cette majoration du prix du Wildstrubel par le rapport d'expertise géologique, indiquant à leur avis, pour le Wildstrubel, des conditions de pression de terrain et de température bien plus défavorables qu'au Lötschberg. Ils ajoutent (page 71) : « *Bei der Ungewissheit über die geologischen Verhältnisse im Innern des Wildstrubelmassivs (siehe Gutachten, Seite 23) ist aber nicht ausgeschlossen dass der Tunnelbau auf ganz ausserordentliche Schwierigkeiten stösst; so dass dessen hypothetischer Voranschlag bedeutend überschritten und dass Verhältnisse der gesamt-kosten zu Ungunsten des Wildstrubel umgekehrt wird.* »

Puis les journaux, la presse, s'emparant de cette appréciation de MM. les experts techniques, arrivent à créer dans l'opinion publique l'idée que la constitution géologique du massif central du Wildstrubel est inconnue et incertaine, et peut devenir un obstacle à la construction du tunnel.

Or la partie du rapport géologique visée par les experts techniques, comme base de leur appréciation, s'exprime comme suit (page 23) : « *Die beiden Wildstrubeltunnels erreichen das Grundgebirge und die ältesten am Lötschberg vorkommenden Sedimente der Trias nicht mehr. Die zu durchbohrenden Schichten setzen sich ausschliesslich zusammen aus Kalten, Schiefern und Sandsteinen. Was für ein Beitrag freilich auf jede dieser Gesteinsarten fällt, lässt sich nicht zum Vorausbestimmen; für das Innere des Wildstrubelklotzes sind wir auf die Hypothese angewiesen.* »

Plus loin (page 32), en résumant les avantages et les inconvénients du Wildstrubel, les experts géologues complètent leurs indications en disant « *Leichtere Bohrung im ziemlich gleichmässig beschaffenem Gestein.* »

Ces citations du rapport géologique, je les comprends et les résume comme suit : Le tunnel du Wildstrubel ne rencontrera que trois roches différentes, toutes trois faciles pour la perforation, c'est-à-dire égales au point de vue technique. Mais il n'est pas possible aux géologues, vu la faible inclinaison des couches, de fixer dans le tunnel la démarcation entre ces roches, soit la longueur respective de chacune d'elles.

Après les intéressantes observations que vous poursuivez avec tant de sollicitude au tunnel du Simplon, depuis le début des travaux, personne ne peut être plus compétent que vous, Monsieur le Professeur, pour se rendre compte de l'influence des conditions géologiques d'un tunnel sur les résultats techniques de sa construction. Aussi je me permets de vous demander votre appréciation sur les points suivants :

1. — Le rapport géologique indique que les schistes du Wildstrubel seront représentés en partie par du Flysch, incliné vers le Sud à 30°, pouvant exercer de fortes pressions et exiger de forts revêtements ;

a/ Quelle serait la nature de cette pression ; s'exercera-t-elle dans tous les sens comme dans les terrains plastiques (appelés au Gothard Druckpartien, parties comprimantes) ou seulement de haut en bas ?

b/ Des pressions analogues n'ont-elles pas lieu dans les roches les plus dures (vu la détente du rocher) ainsi dans le granit, voire même la serpentine, nécessitant de sérieux boisages, pour soutenir le plafond du tunnel.

c/ En comparant avec ce qui se fait au Simplon, quelle épaisseur de maçonnerie, quels types de revêtement prévus pour le Simplon appliqueriez-vous dans le Flysch ?

2. — Sous le rapport des températures, le rapport géologique prévoit pour le Lötschberg un maximum de 30° et pour le Wildstrubel de 35°.

a) En admettant un système de ventilation analogue et aussi puissant que celui appliqué au Simplon, la chaleur de 35° présentera-t-elle des inconvénients ?

b) La différence de 5° entre les températures du Lötschberg et du Wildstrubel est-elle de nature à modifier d'une manière sensiblement défavorable au Wildstrubel les conditions du travail ?

Telles sont, Monsieur le Professeur, les différentes questions que me suggère la comparaison entre les tunnels du Lötschberg et du Wildstrubel, et sur lesquelles j'attribue la plus haute importance à connaître votre précieuse appréciation.

Veuillez agréer, etc.

(Signé) E. STOCKALPER.

Sion, 1^{er} mars 1902.

2^{me} lettre.

M. E. Stockalper, ingénieur, Sion.

Ensuite de l'intéressante communication de votre projet de percement de la chaîne du Wildstrubel, en vue d'un chemin de fer Zweisimmen-Simplon, je viens répondre aux questions que vous m'avez fait l'honneur de me poser.

1. — Il est certain que, dans la plus grande partie, les deux tracés du tunnel du Wildstrubel auront à traverser des roches essentiellement schisteuses du Néocomien, du Flysch et du Jurassique. Les calcaires, grès durs, calcaires siliceux, etc., peuvent se rencontrer comme alternances, soit dans le Néocomien, dans le Tertiaire (Eocène Nummulitique), soit dans le Jurassique. Dans la partie Nord des deux projets, il n'y a que peu de différence au point de vue géologique. La moitié Sud, par contre, dans le projet Oberried-Miège, accuse un repli des couches en forme de voûte, avec plongement de 25 à 30° au N.-O. et au S.-E. de part et d'autre du km. 9. Dans une grande partie de la moitié Nord des deux tracés les couches sont voisines de l'horizontale, soit sur environ 3 à 4 km.; cette longueur sera presque entièrement dans le Flysch et dans les schistes et grès Nummulitiques.

a) C'est dans cette dernière partie que la pression sera la plus sensible. Elle agira dans le sens d'une exfoliation des feuillettes, se traduisant par un bombement du plafond et du seuil de la galerie, formés par la surface des bancs; les parois resteront sensiblement intactes. Ce fait a été constaté chaque fois que, dans le tunnel du Simplon, on a traversé des couches schisteuses horizontales et peu inclinées. Il ne s'agit pas, à mon avis, d'une pression comparable à celle qui existe dans une masse plastique. Si tel était le cas, les montagnes s'étaleraient comme des gouttes de liquide, puisque, au niveau du tunnel projeté, on se trouve *au-dessus* du pied de la chaîne. Il faut attribuer cette rupture d'équilibre à une réaction résultant du contact avec l'air humide du souterrain. Ce phénomène se produit même dans des endroits où la pression des terrains en surcharge est peu considérable. Je l'ai vu se produire dans des schistes liassiques des mines de Bex, à 100 m. seulement en dessous de la surface. Il paraissait résulter d'un *allongement* des couches se traduisant par un gonflement ou bombement de la surface des bancs, qui se détachaient plaque par plaque en fermant la galerie. Tout récemment, on a constaté dans le tunnel hélicoïde de la voie d'accès au Simplon, entre Varzo et Iselle, un phénomène identique, dans des couches de schistes micacé-calcaires plongeant de 10-12° au S.-O. Le toit, comme le seuil du tunnel, se sont bombés avec force et même assez rapidement, alors que les parois formées par la tranche des bancs sont restées intactes.

Cette pression, dans des terrains schisteux, n'est donc pas dirigée dans tous les sens, mais elle est *perpendiculaire à la surface des bancs*. Lorsqu'on se meut dans des couches horizontales, ce sera le plafond qui descendra et le seuil qui se soulèvera. En suivant des bancs verticaux parallèlement à leur direction, ce sont les parois qui se bombent (exemple cité des mines de Bex).

Il semble évident que *l'intensité, soit la puissance et la rapidité de la réaction, seront, dans le même terrain, en raison de la hauteur du terrain en surcharge et, en couches horizontales, probablement plus intenses qu'en couches verticales percées parallèlement à leur direction. Elle sera minimum en couches verticales percées transversalement.*

b) Des effets de pression analogues doivent se produire dans tous les terrains, même les plus durs. Tandis qu'en terrains tendres, schis-

teux ou marno-calcaires, ils se produisent graduellement, presque dès le moment de leur dénudation, on ne constate leur effet que plus tard dans les roches granitiques ou le gneiss massif. De plus, ils se produisent par saccades, souvent avec projection violente de plaques de rocher. Dans le tunnel du Simplon, à Iselle, des ouvriers ont été blessés, des échafaudages écrasés et des piédroits en maçonnerie rompus et démolis.

En terrain granitique, ces détentes peuvent se produire aussi bien au plafond que sur les parois. Elles semblent cependant plus rares sur le seuil. Pourtant j'ai vu le canal en béton, dans la galerie II du tunnel à Iselle, rompu à l'occasion d'une détente produite dans le tunnel I. Au Simplon, la proportion et l'intensité de ces détentes est sensiblement réduite par l'effet des grands coups de mine de l'avancement sur la structure du rocher. Le gneiss granitoïde d'Antigorio devient plaqueté parallèlement à l'allongement des coups, si bien que les parois se détachent lame par lame, dont l'épaisseur est parfois moins de 1 cm. Cette modification va souvent à plus de 1 m. de profondeur, puis on rencontre de nouveau la roche compacte. Les gneiss massifs granitoïdes, la protogine, le granit, en un mot toutes les roches cristallines non schisteuses ont la propriété d'être très fissurées, formation qui est encore accentuée par l'effet des explosions des grands coups de mine. La détente violente du rocher se trouve ainsi plus réduite et rendue plus continue, donc moins saccadée et moins violente. Mais c'est précisément dans ces roches-là, qui semblent être les plus résistantes et les plus dures, que le boisaie est nécessaire. Dans les gneiss d'Antigorio de l'attaque d'Iselle du tunnel du Simplon, on a boisé et étançonné non seulement le plafond, mais aussi les parois de la grande excavation, tandis que, dans les schistes lustrés et les gneiss schisteux du côté de Brigue, on a fait l'excavation de la grande section sur de grandes longueurs sans aucun boisaie ! On avait parlé primitivement, c'est-à-dire dans les anciens projets, de la possibilité de laisser sans revêtement la partie du tunnel traversant le gneiss d'Antigorio ; *or c'est précisément dans ce terrain que le revêtement en maçonnerie est le plus nécessaire !*

c) Le gonflement, soit la détente du rocher en terrain dur, étant, selon moi, une fonction des terrains en surcharge, mais aussi une fonction de la résistance propre du terrain contre l'écrasement, l'épaisseur des revêtements devra tenir compte de ces deux facteurs, dans la mesure du possible ; la forme du revêtement devra également tenir compte de la *direction* de la pression.

Dans le cas de couches presque horizontales de Flysch schisteux, avec une épaisseur moyenne de 1500 m. de terrain en surcharge, le type n° 4 du Simplon avec radier devrait être prévu sur la longueur de 4 km. du km. 2,5 au km. 6,5. Ailleurs les types 2 ou 3 pourront être appliqués à tour de rôle, suivant les constatations que l'on fera pendant les travaux d'avancement. Entre les km. 8 et 10 du tracé Oberried-Miège, il y a cependant lieu de prévoir un type de revêtement plus fort, vu la position des terrains en voûte surbaissée.

Il est important que le voûtement se fasse aussi rapidement que possible ; c'est pour cela que le système d'avancement mixte, système belge avec galerie de base, est à recommander.

2. — *Les températures prévues pour le Lötschberg et le Wildstrubel, n'ont, à mon avis, qu'une influence secondaire pour le choix du tracé.*

a) Avec un système de ventilation analogue à celui du Simplon, la température de 35° à 37° prévue sur 6-7 km. de longueur dans la partie centrale du Wildstrubel n'offrira *aucun inconvénient*. L'important est de disposer de *beaucoup d'air*, que l'on refroidit pour l'avancement avec de l'eau froide.

b) *La différence de 5° ne peut avoir qu'une influence minime sur les conditions du travail.* On travaille actuellement à Brigue avec une température du rocher de 47° au moins. La masse énorme de l'air lancée dans le tunnel produit un refroidissement rapide du rocher. A l'avancement l'air est entre 28° et 30°, température tout à fait supportable, étant donné que l'air se chauffe dans la dernière partie du tube et devient ainsi relativement plus sec.

Recevez, etc.

(Signé) Dr H. SCHARDT.

Veytaux, 12 mai 1902.